



Анализатор окиси кремния
и фосфатов Navigator 600

Управление контролем коррозии с помощью фосфатных анализаторов

Введение

В Беларуси для питьевого водоснабжения крупных городов (кроме трёх) и малых населённых пунктов используются исключительно подземные воды. На большинстве разведанных и эксплуатируемых месторождений качество воды не соответствует требованиям, предъявляемым к воде питьевого назначения по содержанию железа.

Так, превышение норм по железу в воде есть в 41 % белорусских артезианских скважин, концентрация которого достигает 5–6 мг/л и более. На ряде водозаборов имеется превышение допустимых концентраций марганца, азотистых соединений и др. [1]. Поэтому поступающая белорусскому потребителю питьевая вода по центральному водопроводу предварительно проходит очистку от железа. Осуществляется и обеззараживание воды, которое должно обеспечивать её безопасность в эпидемиологическом отношении по установленным показателям [2].

В то же время результаты обследования систем холодного водоснабжения зданий 1990-х годов постройки выявляют повышенный коррозионный износ металлических трубопроводов [3], и этот процесс связан в том числе и с качеством транспортируемой питьевой воды. Как и во многих других процессах, борьба с коррозией в системах водоснабжения требует тонкого баланса между множеством факторов очистки воды и эксплуа-

тации трубопроводов. Чаще всего в Беларуси используются реагентные методы хлорирования воды, что в дальнейшем увеличивает риск внутренней коррозии металлических трубопроводов (рис. 1). Однако имеются альтернативные стратегии, снижающие коррозию, с использованием либо повышенного pH, либо фосфатов. Поэтому для контроля коррозии тре-

В Республике Беларусь превышение норм по железу в воде есть в 41 % артезианских скважин, причём концентрация этого элемента достигает 5–6 мг/л и более. На ряде водозаборов имеется превышение допустимых концентраций марганца, азотистых соединений и других веществ

буется продуманная стратегия и надёжное выполнение рекомендаций, как по эксплуатации, так и по внедрению новых технологических процессов на станциях водоподготовки.

Цель данной работы — определить инструментальные подходы к решению проблемы повышения коррозионной стойкости внутренней поверхности водопроводных труб на предварительной стадии очистки воды с использованием полифосфатов.

Рецензия эксперта на статью получена 19.01.2022 [The expert review of the article received on January 19, 2022].

УДК 160.193. Научная специальность 05.23.04.

Управление контролем коррозии с помощью фосфатных анализаторов

А. Б. Невзорова, д.т.н., профессор, [Белорусский государственный университет транспорта \(БелГУТ, г. Гомель, Республика Беларусь\)](#)

Предложены инструментальные подходы к решению проблемы коррозии водопроводных труб на предварительной стадии очистки воды с использованием фосфатов. Рассмотрены варианты повышения коррозионной стойкости внутренней поверхности водопроводных труб с использованием автоматического способа контроля добавления одной из форм неорганического фосфата при водоподготовке и дальнейшей подаче воды в систему водоснабжения.

Ключевые слова: коррозия, водопровод, фосфатирование, анализаторы, система дозирования.

UDC 160.193. The number of scientific specialty: 05.23.04.

Corrosion control using phosphate analyzers

A. B. Neuzorava, Doctor of Technical Sciences, Professor, [Belarusian State University of Transport](#) (Gomel, Republic of Belarus)

Instrumental approaches to solving the problem of corrosion of water pipes at the preliminary stage of water purification using phosphates are proposed. Variants of increasing the corrosion resistance of the inner surface of water pipes using an automatic method for controlling the addition of one of the forms of inorganic phosphate during water treatment and further supply of water to the water supply system are considered.

Key words: corrosion, water supply, phosphating, analyzers, dosing system.



Рис. 1. Внутренняя коррозия водопроводных труб

Фосфатирование воды

Повышенный уровень pH (щёлочности) воды может быть использован для борьбы с коррозией, несмотря на сопутствующие риски снижения эффективности дезинфекции хлором и увеличения затрат на очистку. Этот подход может быть использован в тех случаях, когда исходная вода имеет высокое значение pH или когда использование фосфатов не допускается.

Хлорирование воды производит как хлорноватистую кислоту, так и ионы гипохлорита, а уровни pH воды влияют на баланс между этими двумя веществами. При более низких уровнях pH большая часть хлора доступна в виде хлорной кислоты, которая очень эффективна при проникновении в клеточные стенки бактерий для дезинфекции, но не обеспечивает длительного остаточного действия. При более высоких уровнях pH большая часть хлора доступна в виде гипохлорит-иона, который имеет более длительное остаточное время, но также не проникает через стенки клеток бактерий, что требует более высоких объёмов дозирования и, следовательно, более высоких затрат хлора для достижения желаемой дезинфекции.

Если эти побочные эффекты с повышенным pH слишком проблематичны, то одним из альтернативных вариантов рекомендуется вместо хлорирования использовать формы неорганического фосфата.

Баланс дозировки как ключевой технологический фактор

Многочисленными исследованиями установлено, что добавление формы неорганического фосфата (ортофосфата, полифосфата, стекловидного или биметаллического фосфата) при водоподготовке и дальнейшей подаче воды в систему водоснабжения создаёт защитное покрытие на внутренней поверхности трубопровода при длительной их эксплуатации. Это сводит к минимуму как коррозию, так и вероятность выщелачивания свинца или меди в питьевую воду. Однако, как и в случае с методом определения pH, использование фосфатов для борьбы с коррозией в системе распределения питьевой воды также способно вызвать противоположные последствия, а именно:

□ недозагрузка может привести к ненормативным показателям качества воды, если в систему распределения очищенной

воды попадёт больше допустимых уровней выщелачивания свинца и меди;

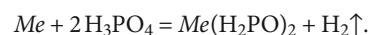
□ передозировка может привести к дополнительным затратам на процессы очистки воды — это происходит из-за чрезмерных трат на дозирование фосфатов или затрат дополнительных средств на последующие операции по очистке для снижения концентрации фосфатов в сточных водах до допустимого [4].

Фосфатные и оксидные защитные плёнки

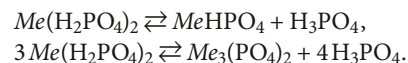
Большинство металлов в атмосферных условиях покрыты оксидными плёнками. Однако эти плёнки не всегда обеспечивают защиту от коррозии.

При фосфатировании H_3PO_4 может образовывать три вида солей $Me_3(PO_4)_2$, где Me — двухвалентный металл. В воде растворяются только фосфаты аммония и щелочных металлов. Двух- и трёхзамещённые фосфаты железа, марганца и цинка малорастворимы. Следовательно, если создать условия для их образования, то они останутся на поверхности металла.

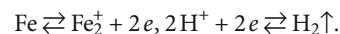
При взаимодействии металла с фосфорной кислотой первоначально образуются дигидрофосфаты:



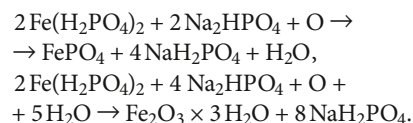
При снижении концентрации фосфорной кислоты получают вторичные и третичные соли:



В образовании фосфатной плёнки участвуют продукты взаимодействия фосфорной кислоты с металлом и вещества, входящие в состав раствора для фосфатирования. Предполагается, что образованию фосфатной плёнки предшествуют реакции ионизации железа:



Железо, переходящее в раствор, вызывает фосфорную кислоту и равновесие реакций смещается вправо. Выпадающие в осадок ди- и трифосфаты кристаллизуются на внутренней поверхности стальной трубы, образуя плотное кристаллическое покрытие:



Предполагается, что образование слоя фосфата железа (рис. 2) в дальнейшем будет предотвращать образование коррозионных процессов в металлических трубах системы водоснабжения [5].

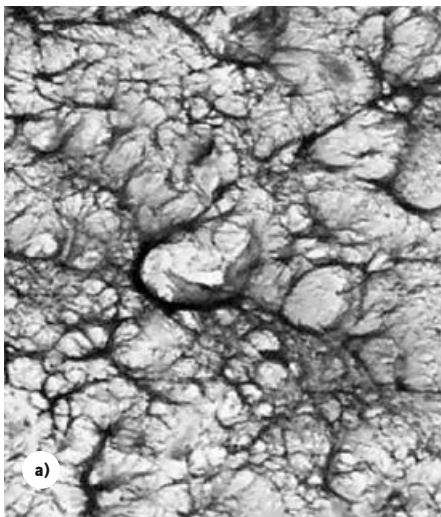


Рис. 2. Слой фосфата железа (а — «лёгкий» железозфосфат, плотность 0,3 г/м², ув. ×32 000; б — «тяжёлый» железозфосфат, плотность 0,8 г/м², ув. ×16 700)

Какое можно найти решение, чтобы оптимально поддерживать баланс фосфатов?

Любой подход к управлению обработкой фосфатов сопряжён с сопутствующими затратами — будь то объём закупаемого фосфата, средства управления приложениями фосфатов или возможность перерасхода в результате передозировки. Вполне логично, что лучшим подходом должен быть тот, который обеспечивает оптимальное предотвращение коррозии при наименьших затратах за подготовку 1 м³ питьевой воды. Такую задачу можно решить с созданием системы непрерывного мониторинга, которая оптимизирует инвестиции в использование фосфатов для каждого кубометра воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Ключ к своевременному мониторингу и контролю заключается в способности быстро адаптироваться к изменениям как расхода воды, так и концентрации фосфатов. Рассмотрим два вида режима контроля.

1. Ручной режим. Проблема с периодическим считыванием показаний концентрации фосфатов визуальным способом заключается в том, что это даёт только моментальное представление о химическом составе воды во время считывания. Поскольку станция водоподготовки работает 24/7 в две смены по 12 ч, то показания производятся в начале каждой смены, уровень фосфатов может быть нарушен на срок до 12 ч.

В системе водоснабжения для оптимизации процесса предпочтителен автоматический способ контроля добавления одной из форм неорганического фосфата при водоподготовке и дальнейшей подаче воды в систему водоснабжения

Даже если снимать показания и чаще корректировать подачу вручную, практически было показано, что процессы ручной подачи приводят к передозировке, что приводит к повышенным эксплуатационным расходам. Столь же плохим является случай, когда скорость потока увеличивается без ручной регулировки скорости подачи, в результате чего концентрация фосфатов остаётся ниже желаемого уровня до тех пор, пока скорость потока не вернётся в норму.

2. Непрерывный режим. В отличие от моментального подхода к периодическому мониторингу, автоматизированный анализ фосфатов в режиме реаль-

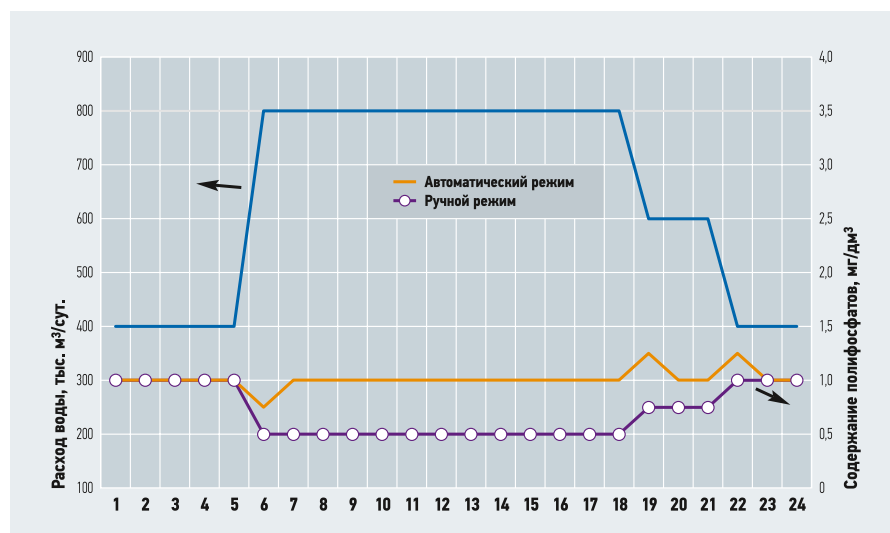


Рис. 3. Регулирование подачи полифосфатов в зависимости от расхода воды в течение суток

ного времени обеспечивает непрерывное представление уровня фосфатов в режиме реального времени и может использоваться для автоматической настройки систем непрерывной подачи фосфатов. Это позволяет системе адаптироваться к постоянным изменениям в скорости производства воды или к потерям эффективности насоса (например, из-за его износа).

Автоматизированная система подачи фосфатов, управляемая непрерывным анализатором фосфатов в режиме реального времени, быстро приспосабливается к изменениям расхода, в то время как автоматическая система ручной подачи может привести к нежелательному снижению концентрации фосфатов (рис. 3).

Выбор правильного анализатора фосфатов

Если исследованиями установлено, что применение фосфатов — лучшее решение для борьбы с коррозией, то оптимальным будет использование анализатора колориметрических процессов для автоматического и непрерывного (онлайн) измерения фосфатов в потоке воды независимо от расхода [6, 7]. Они отличаются диапазоном измерений от 0,01 до 10 ppm (0,1–10 мг/дм³). Устройства бывают в различных исполнениях, построены в соответствии с принципом измерения ISO 6878. Анализаторы конфигурируются как компактное устройство, включающее измерительную и контрольную электронику, фотометр, реакционную камеру, индикатор расхода, систему дозирования реагентов и контейнеры с реагентами. С их помощью можно контролировать поток пробы и уровень заполнения реагента. Анализаторы имеют широкий спектр коммуникационных соединений, а также обеспечивают гибкость взаимодействия

с различными системами подачи фосфатов и системами сбора или мониторинга данных в диспетчерской.

Заключение

Таким образом, показано, что для оптимизации процесса улучшения качества воды и снижения коррозионных процессов в системе водоснабжения может быть использован автоматический способ контроля добавления одной из форм неорганического фосфата при водоподготовке и дальнейшей подаче воды в систему водоснабжения, которое при определённых условиях может создать кристаллическую плёнку в несколько микрометров на внутренней поверхности трубопровода, тем самым повышая коррозионную стойкость внутренней поверхности водопроводных труб и увеличивая срок их безаварийной эксплуатации. ●

1. Китиков В.О., Гурский В.Л., Болтрукевич А.О. Анализ тенденций и рисков развития водопроводно-канализационного хозяйства в Республике Беларусь на современном этапе // Экономическая наука сегодня: сб. науч. ст. — Минск: Изд-во БНТУ, 2019. Вып. 9. С. 152–169.
2. СанПиН 10-124 РБ 99. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества / Утв. Постановлением Минздрава Республики Беларусь 02.09.2010 №105.
3. Невзорова А.Б., Толкачёв С.М. Определение физического износа систем водоснабжения зданий 1990-х годов постройки // Журнал СОК, 2021. №10. С. 25–27.
4. Житенев Б.Н., Йорданова Л.Е. Очистка промывных вод станций обезжелезивания подземных вод коагулированием в присутствии фосфатов // Вестник МГСУ, 2020. Т. 15. Вып. 4. С. 553–568.
5. Грилихес С.Я. Окислирование и фосфатирование металлов. Изд. 3-е, перераб. и доп. / Под ред. П.М. Вячеславова. — М.: Машиностроение, 1971. 120 с.
6. Orchestrating corrosion control with phosphate analyzers [Электр. текст]. Swan Analytical USA. Режим доступа: wateronline.com. Дата обрац.: 10.01.2022.
7. Анализатор фосфата. Все промышленные производители [Электр. текст]. Direct Industry. Режим доступа: directindustry.com.ru. Дата обрац.: 12.01.2022.

References — see page 96.

Corrosion control using phosphate analyzers. Pp. 32–36.

Alla B. Neuzorava, Doctor of Technical Sciences, Professor, [Belarusian State University of Transport](#) (Gomel, Republic of Belarus)

1. V.O. Kitikov, V.L. Gurskij, A.O. Boltrukevich. *Analiz tendencij i riskov razvitiya vodoprovodno-kanalizacionnogo hozjajstva v Respublike Belarus' na sovremennom jetape* [Analysis of trends and risks in the development of water supply and sewerage in the Republic of Belarus at the present stage]. *Jekonomicheskaja nauka segodnja: Sb. nauch. st.* [Economic science today: Coll. vol. of scientific articles]. Minsk. Izd-vo BNTU [Belarusian National Technical University Publishing House]. 2019. Issue 9. Pp. 152–169. [In Russian]
2. *SanPiN 10-124 RB 99* [Sanitary Norms and Regulations of the Republic of Belarus No. 10-124 RB 99]. *Pitëvaja voda. Gigienicheskie trebovanija k kachestvu vody centralizovannyh sistem pitëvogo vodosnabzhenija. Kontrol' kachestva* [Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control]. Appr. by the Decree of the Ministry of Health of the Republic of Belarus No. 105 on August 2, 2010. [In Russian]
3. A.B. Nevzorova, S.M. Tolkachev. *Opredelenie fizicheskogo iznosa sistem vodosnabzhenija zdaniy 1990-h godov postrojki* [Determination of physical wear of water supply systems of buildings built in the 1990s]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2021. No. 10. Pp. 25–27. [In Russian]
4. B.N. Zhitenev, L.E. Jordanova. *Ochistka promyvnyh vod stancij obezhelezivaniya podzemnyh vod koagulirovaniem v prisutstvii fosfatov* [Purification of wash waters of groundwater iron removal stations by coagulation in the presence of phosphates]. *Vestnik MGSU* [Vestnik MGSU (Monthly Journal on Construction and Architecture) {Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering}]. 2020. Vol. 15. Issue 4. Pp. 553–568. [In Russian]
5. S.Ja. Grilihes. *Oksidirovanie i fosfatirovanie metallov* [Oxidation and phosphating of metals]. 3rd Edition, rev. and exp. Edited by P.M. Vyacheslavov. Moscow. *Mashinostroenie* [“Engineering Industry” Publishers]. 1971. 120 p. [In Russian]
6. Orchestrating corrosion control with phosphate analyzers. Swan Analytical USA. Web-source: [wateronline.com](#). Access data: January 10, 2022.
7. *Analizator fosfata. Vse promyshlennye proizvoditeli* [Phosphate analyzer. All industrial manufacturers]. Direct Industry. Web-source: [directindustry.com.ru](#). Access data: January 10, 2022. [In Russian]